

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

平2-37402

⑬ Int. Cl.⁹
G 05 B 13/04

識別記号 庁内整理番号
8527-5H

⑭ 公開 平成2年(1990)2月7日

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全7頁)

⑮ 発明の名称 パラメータ推定方式

⑯ 特 願 昭63-187484

⑰ 出 願 昭63(1988)7月27日

⑱ 発 明 者 湯 田 盛 和 神奈川県藤沢市川名1丁目12番2号 山武ハネウエル株式会社藤沢工場内

⑲ 出 願 人 山武ハネウエル株式会社 東京都渋谷区渋谷2丁目12番19号
社

⑳ 代 理 人 弁理士 山川 政樹 外2名

明 細 書

1. 発明の名称

パラメータ推定方式

2. 特許請求の範囲

時系列モデルのパラメータを推定する方式において、推定する対象に入力される離散入力の周期とは異なる周期を推定周期として指定する推定周期設定手段と、推定周期中に推定する対象に入力された離散入力から移動平均を演算するための移動平均演算手段と、推定周期に同期してシステムの出力を取り込む同期手段と、推定周期中に推定する対象に入力された離散入力から移動平均を演算すること及び推定周期に同期してシステムの出力を取り込むことを推定周期ごとに繰り返して行なって得られたデータから従来のパラメータ推定法を用いてパラメータを推定するパラメータ推定演算手段とを備え、指定する対象を低次数でパラメータ推定することを特徴とするパラメータ推定方式。

3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は、時系列モデルのパラメータを推定する方式に関するものである。

(従来の技術)

従来のパラメータ推定法では、時々刻々のシステムの離散入力周期に対応した時系列モデルを考え、そのモデルの表現に必要なパラメータ全部を推定する考えをとっていた。この従来のパラメータ推定法が記載された文献としては、日本自動制御協会(現システム制御情報学会)発行の「システムと制御、25巻8号～12号、26巻2号」に「線形離散時間システムの同定手法」として連載された「中溝、高好著」の文献がある。

(発明が解決しようとする課題)

しかるに、そのような従来の方法によると、システムの特性、特にむだ時間と離散入力周期の兼ね合いによっては、推定するパラメータの数が多すぎて計算に必要な記憶容量と計算時間が増大し、推定が困難になる恐れがあった。

上記欠点は、次の原因から生ずる。

(a) 推定しなければならないパラメータ数にシステムのむだ時間と比例する要素があり、このため、むだ時間が長いシステムほど推定が困難になる。

(b) パラメータ推定法では、むだ時間をあらかじめ既知と仮定しておく場合もあるが、この仮定は一般の応用にあたっては適当でない。

本発明は、従来のパラメータ推定方式では応用が難しい場合においても、①システムの離散入力周期とは異なる周期を採用し、②推定するパラメータの低次元化を実現することによって、従来のパラメータ推定法の成果をなんら無駄にすることなく、より広い適用範囲を実現することを目的とする。

〔課題を解決するための手段〕

このような目的を達成するために本発明は、時系列モデルのパラメータを推定する方式において、推定する対象に入力される離散入力の周期とは異なる周期を推定周期として指定する推定周期設定手段と、推定周期中に推定する対象に入力され

た離散入力から移動平均を演算するための移動平均演算手段と、推定周期に同期してシステムの出力を取り込む同期手段と、推定周期中に推定する対象に入力された離散入力から移動平均を演算すること及び推定周期に同期してシステムの出力を取り込むことを推定周期ごとに繰り返して行なって得られたデータから従来のパラメータ推定法を用いてパラメータを推定するパラメータ推定演算手段とを備え、指定する対象を低次数でパラメータ推定するようにしたものである。

〔作用〕

本発明によるパラメータ推定方式においては、推定するパラメータの数を低次元化できるので、計算に必要な記憶量と計算量もそれに伴って減らし、従来の方法が適用可能だった範囲では、より高速の演算が可能となり、従来の方法では適用が困難の事例に対してもパラメータの推定が可能になる。

〔実施例〕

本発明の主要な機能は或る期間中のデータを移

動平均する機能と、或る周期ごとにデータを取り込む機能およびパラメータ推定機能からなる。これらの機能のうち、最初の2つは〔発明が解決しようとする課題〕の欄でも述べた従来の方法の適用範囲を広げるために用いられるものであり、パラメータ推定機能は従来から考えられている方法のうち、不偏推定あるいは一致推定となるものならなんでもよい。

以下、本発明の一実施例について図面を用いて詳細に説明する。第1図は、本発明によるマルチレートパラメータ推定方式を構成する要素とその結合を表わしたブロック系統図である。

第1図において用いられている記号と表現上の規約は次の通りとする。

円弧に矢印のついたスイッチ入力の記号は連続信号を一定周期でサンプリングするサンプル回路を意味し、その周期は記号の側に英字で書かれた値(第1図ではT、T2)とする。箱の中に「ZOH」と書かれている記号はサンプル回路で、サンプリングされた値を保持するホールド回路を意

味する。ブロックとブロックとの間の矢印の付いた線は矢印の向きに情報が伝達されることを意味し、特にその情報が何であるかを線の側に書く。

次に、第1図に番号をつけたブロック(=要素)について説明する。要素1は、そのパラメータを推定しようとする対象(=システム)である。この要素は1入力1出力からなり、ここでは入力を記号u、出力を記号Yで表わす。なお、システムには離散化されたuが入力されるものとする。

要素2は、本発明におけるマルチレートパラメータ推定での推定周期を与える推定周期設定手段であり、推定を行なう以前にあらかじめ適当な値を設定しうる機能を備えている。この手段で設定された値T2は、要素3(移動平均演算手段)と要素4(同期手段)に伝達され、それぞれの要素での時間的動作を決定する。

要素3は、要素2から与えられた値T2の周期ごとに、システムに入力された時々刻々の入力uから演算、例えば移動平均演算を行ない、その演算値X_nを出力する手段である。

要素4は、要素2から与えられた値 T の周期ごとに、要素3からの出力 X_n が入力されるのと同期してシステムの出力 Y_n を取り込む手段である。この要素によって同期した信号として取り込まれた (X_n, Y_n) が要素5、6に出力される。

要素5は、要素6(パラメータ推定演算手段)でパラメータ推定演算を行なう際のモデルの次数を決定する時系列モデル次数設定手段である。第1図の例では、時系列の次数として過去の出力の影響を考慮する数として n' 、過去の入力の影響を考慮する数として m' を要素6に設定している。この次数は手動で決定することもできるが、手動によらない場合はこの次数に基づき要素6が推定したパラメータが再び要素5にフィードバックされ、その結果から情報量基準 AIC あるいは F 検定法等の方法を用いて試行的に決定することもできる。この AIC 、 F 検定等の方法については、社団法人計測自動制御学会から発行されている「自動制御ハンドブック基礎編」のp.584～p.585に説明がされている。

が出力値を意味する。また、 $Y_j, Y_{j-1}, Y_{j-2}, \dots$ 等は u がサンプル回路に入力された時点でシステムの出力値をサンプリングした値を表わし、その下に曲線で描かれた軌跡は、システムの出力値がサンプリングされる時刻以外も含めた時刻でのシステムの出力値の変化の様子を模式的に表現したものである。このように第2図は、時々刻々変化する離散入力によってシステムの出力値が連続的に変化する様子を表わしたものである。

従来のパラメータ推定法においては、 u がサンプル回路によってサンプリングされる時刻でのシステムの入出力値を使ってパラメータ推定をしようとするシステムを(1)式のごとく記述し、未知の $a_1, a_2, \dots, a_n, b_0, b_1, \dots, b_m$ を推定する手法を考えていた。

$$y(j) + a_1 y(j-1) + \dots + a_n y(j-n) = b_0 u(j) + b_1 u(j-1) + \dots + b_m u(j-m) + e(j) \quad \dots (1)$$

ここで、 $(u(j))$ はシステムの入力データ列、 $(y(j))$ はシステムの出力データ列、 $(e(j))$ は測定不可能量である。(1)式は過去のシステムの

要素6は、要素5から伝達された時系列モデルの次数に基づいて要素4から伝達される (X_n, Y_n) から時系列モデルのパラメータを推定する手段である。パラメータ推定の方法としては従来から用いられている方法でよい。推定されたパラメータは要素5にフィードバックされ、時系列モデルの次数の決定に用いられる。

最後に、要素5で最終的に決定した時系列モデルの次数に基づき要素6が推定したパラメータの結果が格納される。なお、 A は要素2、3、4を含む本発明に特に関わる手段である。

第2図は、第1図においてシステムの入出力信号の様子を表わしたものである。第2図の「 t 」は時間を意味し、 $j, j-1, j-2, \dots$ 等の記号は入力信号 u がサンプル回路によってサンプリングされた時刻を表わす。このサンプル間の時間はすべて一定でその値は「 T 」である。また、 u_{j-1}, u_{j-2}, \dots 等の記号のついた長方形の図形はサンプル回路によってサンプリングされた u のホールド回路を経た出力を表わし、各々の図形の高さ

入力と出力の線形結合が現在のシステムの出力値を決定していることを意味するが、むだ時間が存在するようなシステム等ではかなり以前の入力まで考慮しなければならず、このようなシステムのパラメータ推定が困難になっていた。また、むだ時間がそれほど長くないシステムの場合であっても、 u のサンプリング(離散化)周期がパラメータ推定に都合のいい値になっているとは限らず、この場合離散化周期をパラメータ推定に都合のいい周期に設定しておかなければならなかった。

ここで、パラメータ推定の工業分野への応用を考えてみると、推定される個々のパラメータが必要であるとされることはあまりない。それよりも、推定されたパラメータに基づき工業的に意味のあるもとのシステムの情報を復元できることが重要である。

ところで、上のような従来の方法の欠点は個々のシステムの離散入力に異なる係数を考えてパラメータ推定を行なっている点に原因している。システムの出力値に個々の入力の影響を及ぼしてい

ることは間違いないが、近い時刻でのシステムの離散入力値同士はシステムの出力に同じくらいの影響を持っているとも考えられる。そこで、時系列 u の整数倍の周期 T_2 を考え、或る時刻とそれよりも T_2 時間だけ前の時刻の間に有る時系列 u の個々の値が同じくらいの影響を持って或る時刻でのシステムの出力に参与しているものとする。

このことを数式を使って説明する。周期 T の時系列 u に対してその整数倍の周期 T_2 の時系列 X を表のように T_2 周期ごとに同期させ（最初に同期する時点は任意）、時系列 X の個々の値 X_k ($k=1, 2, 3, \dots$) を時系列 u の個々の値 $u_{j-T_2+1}, u_{j-T_2+2}, \dots, u_j$ から k, j の値にはよらない F を用いて、

$$X_k = F(u_{j-T_2+1}, u_{j-T_2+2}, \dots, u_j) \quad \dots \dots (2)$$

のように求める（具体的な F については後述する）。表においては、下線を付けた時点で上下の時系列が同期している。

表	
周期 T の時系列	$\dots u_{j-T_2} \quad u_{j-T_2+1} \quad \dots \quad u_j \quad u_{j+1} \quad \dots \quad u_{j+T_2} \dots$
周期 T_2 の時系列	$\dots \underline{X_{k-1}} \quad \dots \quad \dots \quad \underline{X_k} \quad \dots \quad \dots \quad \underline{X_{k+1}} \quad \dots$

このように時系列 u から時系列 X に変換される様子を示したのが第3図である。この例では、 $T_2 = 3T$ であるとしている。ただし、関数 F についてはこのままでは計算できない。そこで、この F の一例を次にあげる。

① $u_{j-T_2+1}, u_{j-T_2+2}, \dots, u_j$ の単純平均を計算し、それを X_k とする。

② $u_{j-T_2+1}, u_{j-T_2+2}, \dots, u_j$ の重み付け平均を計算し、それを X_k とする。

いずれの場合も時系列 u の移動平均演算として考えることができるが、①の単純平均の場合を例にとり関数 F の計算式を(3)式に示す。

$$X_k = (u_{j-T_2+1} + u_{j-T_2+2} + \dots + u_j) / (T_2 / T) \quad \dots \dots (3)$$

以上が第1図で要素3を中心とした要素2, 3, 4の説明であったが、従来の方法で(1)式の記述

されたモデルが本発明のマルチレートパラメータ推定法でどのように記述され直したかを(4)式に示す。

$$y(k) + a_1' y(k-1) + \dots + a_{n'}' y(k-n') = b_0' X(k) + b_1' X(k-1) + \dots + b_{m'}' X(k-m') + e(k) \quad \dots \dots (4)$$

ここで、 $\{X(k)\}$ はシステムの移動平均入力データ列、 $\{y(k)\}$ はシステムの出力データ列、 $\{e(k)\}$ は測定不可能量である。(1)式の表現と(4)式の表現の違いはモデルの表現に必要なパラメータ数である。例えば、(1)式で $m = 8$ として推定しなければならなかったシステムの事例では第3図のようにシステムの入力の変換を行なった場合、 $m' = 3$ ですむことがわかる。(1)式の n と(4)式の n' に関しては明確な比較ができないが、少なくとも n' が n を越えることはない。

以上がマルチレートパラメータ推定法の基本的考え方である。考え方を明瞭にするために第1図の要素と関連づけて言えば、要素2では推定のための周期 T_2 を決定する。要素3は、第2図に示

した新たな時系列 X_k を(2)式に基づいて計算する。要素4は、 X_k が生成されるのと同期して Y_k を取り込み、同期信号列 (X_k, Y_k) を生成する。要素5は、同期信号列 (X_k, Y_k) を基本データとして(3)式で $a_1', a_2', \dots, a_{n'}', b_0', b_1', \dots, b_{m}'$ を推定する際の次数を決定する。

要素6については要素4, 5より与えられた情報を基にしてパラメータを推定する従来の方法で不偏推定あるいは一致推定となるものならばなんでもよく、最小二乗推定、重みつき最小二乗推定、補助変数法、最尤推定法等を用いることができる。

以上説明したマルチレートパラメータ推定法を、工業分野におけるプロセス解析の手法として有効であることを確認するため行なった具体的な実施例について説明する。

ここでは、第1図における工業分野との対応を次のように考える。要素1のシステムは、プロセス解析を行なうプロセスそのものに相当する。プロセスへの入力信号 u としてはプロセス操作中のコントローラからの操作出力信号とし、プロセス

からの出力信号Yは制御信号を用いる。

このような対応のもとで、実際のプロセスのかわりにあらかじめその特性(伝達関数)のわかっているモデルを用いてマルチレートパラメータ推定を行なった。(5)式に示す伝達関数がモデルとして採用したプロセスの伝達関数である。このプロセスに実際の現場で用いられているデジタルコントローラの操作信号更新周期と同じ0.5秒の間隔でプロセスに離散信号を入力した。なお、この間隔は今までの説明で用いた記号によって $T = 0.5$ と表わせる。

$$G(s) = \frac{0.7e^{-s}}{(90s+1)(10s+1)} \quad (5)$$

この他にも、第1図で説明した各種の設定パラメータについては本実施例の場合、手動入力で次のように設定した。

$$T_2 = 10, \quad n' = 2, \quad m' = 4 \quad (6)$$

さらに、(2)式の関数Fとしては単純平均をとる(3)式を用いた。

この事例の場合、従来の方法(1)式でパラメ

を描いたのが第4図、第5図である。第4図が(5)式のボード線図、第5図が(6)式のボード線図である。これらのボード線図では、ゲイン曲線が実線で位相曲線が点線で示されているが、両図を比較すると、ゲイン曲線、位相曲線ともほとんど一致しており、工業分野での応用には充分利用可能な精度で求まっていることがわかる。

(発明の効果)

以上説明したように本発明によるパラメータ推定方式は、推定する対象に入力される離散入力の周期とは異なる周期を推定周期として指定し、推定周期中に推定する対象に入力された離散入力から移動平均を演算し、推定周期に同期してシステムの出力を取り込み、上記演算と取り込みを推定周期ごとに繰り返して行なって得られたデータから従来のパラメータ推定法を用いてパラメータを推定し、指定する対象を低次数でパラメータ推定することにより、推定するパラメータの数を低次元化できるので、計算に必要な記憶量と計算量もそれに伴って減少し、従来の方法が適用可能だ

ータを推定しようとする、 m としては少なくとも12個が必要になるが、本発明によるマルチレートパラメータ推定方式では必要な m' は6個になっており、さらに n, n' についても明らかに $n' \leq n$ とすればよいから、推定に必要なパラメータの数は減っていることがわかる。

次に、このようにパラメータの数を減らしても工業分野での応用に十分役にたつことを示す。(6)の条件によってマルチレートパラメータ推定を行なった結果は次の(8)式のようにになった。ただし、ここで第1図の要素6のパラメータ推定演算手段としては周知の最小二乗法を使った。

$$G(Z^{-1}) = M/N \quad \dots (8)$$

$$M = 0.005362Z^{-1} + 0.035469Z^{-2} + 0.006099Z^{-3} + 0.000063Z^{-4}$$

$$N = 1 - 1.256647Z^{-1} + 0.323775Z^{-2}$$

(5)式と(8)式では、プロセスを表現している領域が前者は連続時間、後者は離散時間であり異なるので、比較が簡単にはできない。そこで、(5)、(8)式のボード線図(工業分野では広く用いられている)

った範囲では、より高速の演算が可能となり、従来の方法では適用が困難の事例に対してもパラメータの推定が可能になる効果がある。

また、推定の計算方法は従来から考えだされている方法を用いることができるので、従来のパラメータ推定で得られた資産を継承することができ、また本発明と従来方式との比較を容易に行なえる効果がある。

さらに、移動平均を演算しているので、高周波のノイズを低減化することができ、高信頼性のパラメータ推定が可能になる効果がある。

4. 図面の簡単な説明

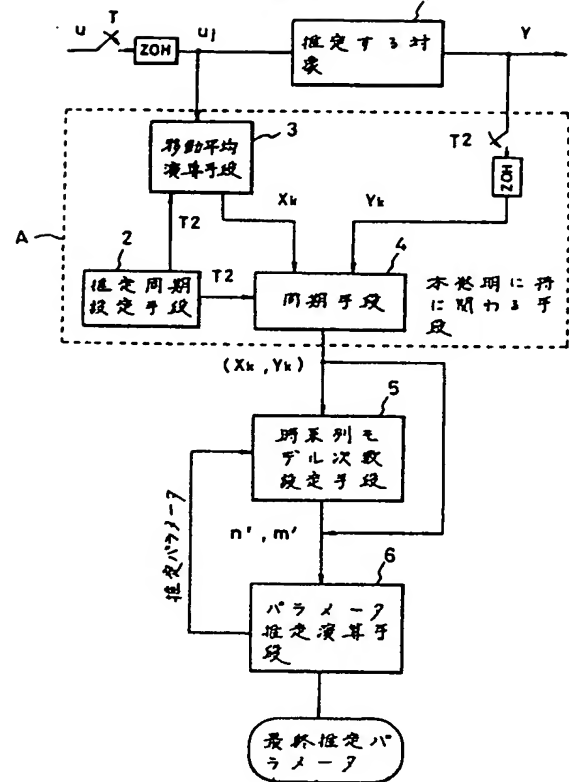
第1図は本発明によるパラメータ推定方式の一実施例を示すブロック系統図、第2図はシステムの入出力信号の様子を表わすタイムチャート、第3図はシステムの入力の変換を行なった場合を示すタイムチャート、第4図および第5図はボード線図である。

1…推定する対象、2…推定周期設定手段、3…移動平均演算手段、4…同期手段、5…時系列モデ

ル次数設定手段、6…パラメータ推定演算手段。

特許出願人 山武ハネウエル株式会社
代理人 山川 政 樹 (ほか2名)

第 1 図



第 3 図

第 2 図

